

Prager U-Bahntunnels unterqueren Moldau

Bei der Projektierung eines für die Erweiterung der Prager U-Bahn erforderlichen Tunnels sahen sich die Verantwortlichen aufgrund der Lage einer bestehenden Station starken räumlichen Einschränkungen in einem ohnehin schwierigen Gelände gegenüber. Die neue Linie unterquert lediglich einen Meter unter der Flusssohle die Moldau. Diese minimale Schichtdicke der überlagernden Formation schloss den Einsatz der Tunnelvortriebsmethode aus. Von den „klassischen“ Baumethoden blieb nur diejenige der Fangdämme mit der Errichtung von drei solchen Fangdämmen in der Moldau-Fahrrinne. Diese Methode erwies sich jedoch als sehr zeitaufwendig und teuer. Sie hätte eine beträchtliche Behinderung des Schiffsverkehrs zur Folge gehabt und ebenso die Gefahr einer Beschädigung der Bauwerke bei Flutung. Deshalb schlug der Generalbauunternehmer Metrostav Company eine alternative Vorgehensweise vor: das Absenken des Tunnels im Tauchverfahren.



Steuerung der Totalstationen Leica TCRA 1101 X-Range mit grafischer Ausgabe der Messwerte und Planabweichungen der verfolgten Objektpunkte.

Das Prinzip der Tunnelabsenkung im Tauchverfahren

Die U-Bahn-Linie passiert unter dem Flussbett der Moldau zwei Tunnels mit horizontalen und vertikalen Kurven. Das technische Grundprinzip besteht aus der Tunnelvorfertigung im offenen Graben – dem „Trockendock“ – an einem Ufer des Flusses. Dieser Graben wird durch eine Stahlspundwand vom Fluss getrennt. Im Flussbett wird eine Rinne ausgebaggert, in welche der Tunnelkörper abgesenkt wird. Der Tunnelkörper wird mit Stahldeckeln verschlossen und nach dem Eintauchen mittels eines Systems untereinander verbundener Wassertanks so im Gleichgewicht gehalten, dass eine selektive Flutung und Platzierung erfolgen kann. Das Absenken des Tunnelkörpers erfolgt mit

Hilfe von zwei Hydraulikstationen, die sich am gegenüberliegenden Ufer befinden, sowie einer dritten Station, die sich am Ufer des Trockendocks befindet und nötigenfalls als „Bremse“ dient. Der hintere Tunnelteil ist mit Stahlkufen versehen und bewegt sich auf Betonstreifen, wobei seitliche Bewegungen mit Stahlprofilen eingegrenzt werden. Der vordere Teil des Tunnelkörpers wird mit Kabelschlingen an einem Ponton aufgehängt, mit der Möglichkeit, Höhenänderungen zu steuern. Wenn das Absenken abgeschlossen ist, wird der Tunnelkörper an den Betonstreifen innerhalb der Rinne verankert, die im Flussbett ausgehoben wurde. Zwischen Tunnelboden und Unterboden liegen Textilsäcke, die unter Druck mit einer Betonmischung gefüllt werden. Zusätzlich wird der Tunnel mit Mikropfähnen verankert und das Aushubmaterial zur Hinterfüllung genutzt.

Vermessungsarbeiten

Bei dieser Methode kommt der Vermessungsgenauigkeit eine grosse Bedeutung zu, da sich schon geringste Ungenauigkeiten massiv auswirken. Um unerwünschte Messeinflüsse auf ein Minimum zu beschränken, wurde im Baustellenbereich eine Mikro-Vermaschung mit Zwangszentrierung vorgeschlagen. Der Vermessung der Mikronetzpunkte folgte

die Berechnung der dreidimensionalen Koordinaten derjenigen Stellen, welche während der Gesamtdauer des Tunnelbaus als Fixpunkte unverändert blieben.

Vermessungsarbeiten während der Vorfertigung des Tunnels im „Trockendock“

Die Vermessungstechnik musste Folgendes sicherstellen:

- das Abstecken und die Vermessung der dreidimensionalen Lage der Betonsohlen;
- Vermessung der dreidimensionalen Lage der Gleitschalung;
- Vermessung des U-Bahn-Tunnelkörpers im jeweiligen Ist-Bauzustand;
- Volumenberechnung des Tunnelkörpers und Vergleich mit dem Plan (dafür wurde eine Spezialsoftware entwickelt);
- Berechnung der Tunnelkörpermasse auf Basis des Volumengewichtes der Proben der verwendeten Betonmischung;
- Berechnung des verdrängten Wasservolumens;
- Koordinatenberechnung der Segmentschwerpunkte;
- Dreidimensionale Mittelpunkt-Koordinatenbestimmung der Reflektorprismen, welche im vorderen und mittleren Teil des Tunnelkörpers auf den Stahlkonstruktionen montiert sind.



Vermessungsarbeiten während des Absenkens des Tunnelkörpers

Obwohl die Sohle des abgesenkten Tunnelbodens in ca. 13 Metern Wassertiefe verläuft, mussten während des Absenkens des Tunnelkörpers eine kontinuierliche Messung und Berechnung der dreidimensionalen Koordinaten am vorderen und hinteren Teil des Tunnels sowie für die sofortige Bewertung der Planabweichungen sichergestellt sein. Die Grundlage der Messanordnung bildeten zwei motorisierte Totalstationen Leica TCRA 1101 X-Range mit integriertem Laser-Distanzmessgerät. Sie waren online an das Computer- und Steuersystem angeschlossen, welches mit speziell entwickelter Software ausgestattet war. Während der Verfolgung und Bewertung der Änderungen der dreidimensionalen Position des abgesenkten Tunnels

wurden menschliche Eingriffe vollständig ausgeschaltet. Das Messintervall wurde auf zwei Sekunden eingestellt, was bei maximaler Verlagerungsgeschwindigkeit einer Bewegung von zwei Zentimetern entsprach. Die Bewegung des vorderen Teils des Tunnels wurde unabhängig nach dem klassischen Verfahren mit einer Gesamtstation TCA 1102 verfolgt und bewertet, und gleichzeitig wurde die Querkippung des Tunnels gemessen und bewertet.

Während des Absenkens betrug die Anzahl der Messungen: 7907 im vorderen Teil des Tunnels; 6668 im hinteren Teil des Tunnels.

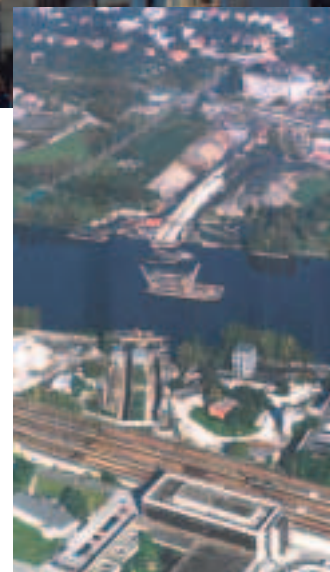
Die mittlere Planabweichung des verfolgten Punktes betrug im vorderen Teil des Tunnels: 0,012 m; im hinteren Teil des Tunnels: 0,015 m.

Die endgültige Abweichung der Tunnelachse (auf der Vorderseite des Tunnels) gegenüber dem Plan betrug 0,004 m.

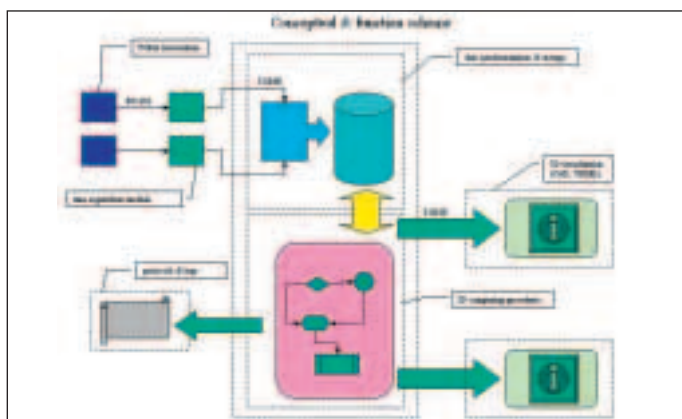
Erkenntnisse

Der gesamte Tunnelbau einschliesslich der Absenkung in die vorgesehene Position erfolgte ohne wesentliche Probleme. Das Gesamtbauwerk wurde in höchster Qualität verwirklicht. Das automatisierte Vermessungs- und Steuerungssystem erfüllte voll und ganz die Anforderungen, obwohl diese Technik weltweit hier erstmals zum Einsatz kam. Da die Vermessungs- und Korrekturdaten praktisch kontinuierlich verfügbar waren, konnte man während des Bauverlaufes permanent Anpassungen vornehmen und somit „Aufschaukelungen“ innerhalb des Systems verhindern. Ein Lob gilt zu Recht den Totalstationen Leica TCRA 1101 X-Range und Leica TCA 1102, welche ihre hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit bestätigten und wesentlich zum erfolgreichen Abschluss der Arbeiten beitrugen. Da dieses Tunnelbauverfahren einschliesslich der Absenkung in die gewünschte Position erfolgreich war, wird es ohne wesentliche Änderung auch beim Bau des zweiten Tunnels zum Einsatz kommen.

**Jaroslav Pohan,
CCE Prague. Ltd.**



Luftbild des Trockendocks mit betoniertem Tunnel: (1) Mess- und Rechenzentrum, (2) Station für eine unabhängige Steuerung (3) des Grabens zur Absenkung des Tunnels nach dem Transport.



Schema des Mess- und Rechenzentrums.

Technische Daten

Tunnellänge: 168 m
Tunnelmasse: ca. 7000 Tonnen
Äußere Abmessungen: 6,48 x 6,48 m
Dicke der Wände: 730 mm
Dicke von Ober- und Unterseite: 700 mm
Waagerechter Biegeradius: 750 m
Senkrechter Biegeradius: 3800 m